

センチメートル級の大型バルク金属ガラスの創製と工業化 Fabrication of Bulk Metallic Glasses in Centimeter Glass and Their Industrialization

井上 明久 (INOUE AKIHISA)
東北大学・総長



研究の概要

本研究では、1cm以上のガラス形成能臨界直径をもつ大型バルク金属ガラス(BMG)の創製および局所的原子配列や様々な物性が発現する機構の解明を基礎研究項目として究明するとともに、新規に開発された大型BMGを用いて応用分野のさらなる拡大を図り、高度に安全・安心で、より豊かな人類社会構築のための新基盤材料としての確立を目指すことを目的としている。

研究分野：材料工学

科研費の分科・細目：構造・機能材料

キーワード：バルク金属ガラス、アモルファス材料

1. 研究開始当初の背景

バルク金属ガラス(BMG)の研究分野の歴史は、1988～1993年の5,6年間に我々が世界に先駆けて見出したMg系、希土類金属(Ln)系、Zr系など数百種類の合金系に端を発している。続いて、1994年に提唱した過冷却金属液体が安定化してBMGが生成するための3成分則に基づくBMG合金探索の結果、現在では1千種類以上の多成分合金系でBMGの生成が報告され、金属分野に革新をおこしている。しかしながら、今日まで開発されてきたBMGの大部分の臨界直径は1cm以下であり、その臨界直径のさらなる増大および臨界冷却速度のさらに低い合金の開発が熱望されていた。

2. 研究の目的

以下に記す6項目を本研究課題の目的とする。すなわち、本研究期間の5年間に、(1)Zr、Pd、Mg、Fe-Co、Ni、Cu、Ptの最大直径をさらに増大させること、(2)新規合金系で1cm以上の臨界直径をもつ多くの新合金を見出すこと、(3)異常に高いガラス形成能を示す根本原因および相変態・安定性機構を解明すること、(4)各特性において最高の機能を発現するcm級のBMGの組成、構造および組織的特徴の確立を図ること、(5)金属過冷却液体加工技術を確立すること、および、(6)cm級BMGの工業化の達成である。これらの成果に基づき、新規なcm級の大型BMGの材料科学・工学の基礎の確立を目指す。

3. 研究の方法

研究代表者を含む計7名の研究組織で本研究を遂行する。本研究課題の開始以降、cm級BMGを作製するための設備備品(装置)として、平成20年度に「大型バルク金属ガラス铸造装置」および「大容量母合金作製用アーク溶解炉」、平成21年度に、「バルク金属ガラス作製装置」、平成22年度に「簡易铸造機構」を購入して研究を遂行している。その他、研究遂行に必要な設備備品は、既設の装置を用いる。研究手法としては、1. 合金作製、2. 機構解明ならびに3. 応用開発の三つの研究項目に対して、研究分担者がそれぞれ担当し、研究代表者が研究の総括を行う計画である。

4. これまでの成果

これまでに得られた研究成果は、下記の3つに大別される。すなわち、1. 新規cm級BMGの開発、2. 金属ガラスの局所的秩序の検証、3. 金属ガラスの応用展開である。それぞれの現状を以下に述べる。

< 1. 新規cm級BMGの開発 >

本研究開始後、Cu基、Zr基およびPd基合金で新規cm級BMGの開発に成功した。得られた新規cm級BMGの最大直径は、 $\text{Cu}_{47}\text{Zr}_{45}\text{Al}_8 = 15\text{mm}$ (論文6)、 $\text{Zr}_{70}\text{Al}_8\text{Cu}_{13.5}\text{Ni}_{8.5} = 10\text{mm}$ (論文4)、 $\text{Zr}_{60}\text{Ni}_{25}\text{Al}_{15} = 15\text{mm}$ (論文2)、 $\text{Pd}_{40}\text{Ni}_{40}\text{Si}_4\text{P}_{16} = 20\text{mm}$ (論文3)であることを明らかにしている。

< 2. 金属ガラスの局所的秩序の検証 >

数オングストロームの幅の細い電子ビームを用いて得た回折パターンから、金属ガラスの局所的秩序の存在を実証した(論文 5)。データから、秩序原子クラスター内の平均原子面間隔は 2.4 Å であることが明らかになった。また、分子動力学法で得られたモデルは、実験により測定された回折パターンの主な特徴を再現し、局所秩序の存在を実証した。

< 3. 金属ガラスの応用展開 >

金属ガラスの新規応用として、(1)ハードディスクメディアを指向した高密度記録媒体の作製(図 1、論文 1)および(2)超々精密ギヤードモータの作製に成功した(論文 1)。(1)の高密度記録媒体の作製では、金属ガラスを用いることにより、ドット径 9 nm、ピッチ 18 nm (2 Tbit/inch² 相当) で高アスペクト比 (1 以上) の金型の作製に成功した。(2)の超々精密ギヤードモータの作製では、従来の世界記録にあたる直径 1.5mm のマイクロギヤードモータを凌ぐ直径 0.9mm のマイクロギヤードモータの作製に成功している。

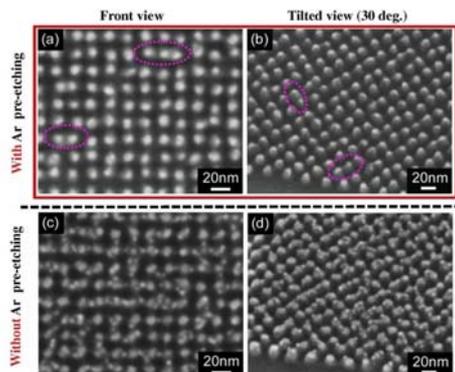


図 1 Pt マスク蒸着とドライエッチングにより作製した高記録密度データ記憶装置用の 18 nm (2 Tbit/inch²)ピッチのナノモールド(論文 1)

5. 今後の計画

平成 22 年度までの研究成果を踏まえ、(1)cm 級新規 BMG の開発、(2)cm 級 BMG の生成機構の解明、および(3)応用開発ならびに工業化の各分野について、さらなる研究の進展を図る。具体的には、(1)では、(1-1): これまでに見出された cm 級 BMG の合金系、合金組成の再検討による新規 cm 級 BMG の開発ならびに(1-2): cm 級 BMG のための新規合金設計指針として平成 22 年度末に見出した新規 cm 級 BMG 合金組成則である「高エントロピー」制御、すなわち、5 元以上の等原子分率多元系合金開発指針による新規 cm 級 BMG を目指す。(2)では、幅広い種類の cm 級 BMG に対して逐次解析を行うとともに、これらの cm 級 BMG に共通する局所原子構造の特徴ならびに個別の特徴を極微

細ナノビーム電子線回折法ならびに計算機シミュレーションにより解析を行ってゆく計画である。(3)では、現状におけるハードディスクメディアを指向した高密度記録媒体の作製および超々精密ギヤードモータの実装を含めた量産化、工業化への展開を行うとともに、これら以外の応用・実用・工業化への展開についても並行して検討してゆく計画である。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

< 論文 >

1. "Recent Development and Applications of Bulk Glassy Alloys", A. Inoue and A. Takeuchi, Acta Materialia, 59, 2243-2267. (2011).
2. "Glass-Forming Ability and Mechanical Properties of Zr_{75-x}Ni₂₅Al_x Bulk Glassy Alloys", Y.H. Li, W. Zhang, C. Dong, J.B. Qiang, A. Makino, M. Fukuhara and A. Inoue, J. Mater. Res. 26, 533-538 (2011).
3. "Glass-Forming Ability and Thermoplastic Formability of a Pd₄₀Ni₄₀Si₄P₁₆ glassy alloy", N. Chen, H.A. Yang, A. Caron, P.C. Chen, Y.C. Lin, D.V. Louzguine-Luzgin, K.F. Yao, M. Esashi and A. Inoue, J. Mater. Sci., 46, 2091-2096, (2011).
4. "Synthesis and Mechanical Properties of New Cu-Based Cu-Zr-Al Glassy Alloys with Critical Diameters up to Centimeter Order", B.W. Zhou, X.G. Zhang, W. Zhang, H.M. Kimura, T. Zhang, A. Makino and A. Inoue, Mater. Trans., 51, 826-829. (2010).
5. "Direct Observation of Local Atomic Order in a Metallic Glass", A. Hirata, P.F. Guan, T. Fujita, Y. Hirotsu, A. Inoue, A.R. Yavari, T. Sakurai and M.W. Chen, Nat. Mater., 10, 28-33. (2011).
6. "Unusual Compressive Plasticity of a Centimeter-Diameter Zr-Based Bulk Metallic Glass with High Zr Content", Y.H. Li, W. Zhang, C. Dong, J.B. Qiang, K. Yubuta, A. Makino and A. Inoue, J. Alloys Comp., 504, S2-S6, (2010).
7. "Formation and Properties of New Cu-Based Bulk Glassy Alloys with Critical Diameters up to 1.5 cm", W. Zhang, Q.S. Zhang, C.L. Qin and A. Inoue, J. Mater. Res., 24, 2935-2940, (2009).

< 受賞 > A. Inoue: Acta Materialia Gold Medal, 2010, James C. McGroddy Prize, 2009,

ホームページ等

http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp_org/index.php